

振動流場での高濃度層の流動とその保持機構に関する研究

九州大学工学部 学生員○中村隆志

同 上 正 員 山西博幸

同 上 正 員 楠田哲也

1. はじめに

粘土等の軟らかい底泥が多く存在する沿岸域においては、底泥の巻き上げ、沈降、移動等により航路の埋没といったシルテーション問題や水質汚濁といった問題が生じている。これまでの研究により底泥からの巻き上げや懸濁物質の沈降特性の解明、高濃度層の形成とその流動のモデル化、さらにシミュレーションによる高濃度層内の流動解析などが行われてきた。シルテーションが生じる際には高濃度の流動層が存在することが不可欠であるが、その理由については未だ説明されていない。本研究は振動流場において形成される高濃度層がある層厚を保持しながら流動するメカニズムの解明を目的とするものである。

2. 実験装置及び方法

図-1は本実験で使用したU字型振動流水槽である。本水槽を用いることで波動場における水面変動の影響を除外して、剪断流場を作ることができる。実験には有明海に注ぐ佐賀県牛津川底泥(土粒子密度 $\rho_s = 2.54 \text{ kg/m}^3$ 、中央粒径 $d_{50} = 4 \mu\text{m}$)を用い、この底泥と海水とを十分に混合させ所定の懸濁物質濃度に調整した後、水槽内に注ぎ込み実験を開始した。実験開始後、高濃度層の形成過程を経時的に観測した。また、高濃度層が存在し続ける原因となりうる層内と上層水中での圧力差や高濃度層内での有効応力の影響等を評価するために圧力の測定を行った。圧力測定に際しては水槽壁面に設置したステンレス製の細管($\phi 2.5 \text{ mm}$)に圧力センサーを接続し、センサーから得られる信号をA/D変換しパソコンにデータを取り込んだ。さらに、水槽内の濃度測定は水槽壁面に設けられた採水孔を通して行い、鉛直方向に十数点の採水後、孔径 $0.1 \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターによる濾過によって濃度を計算した。なお、高濃度層の層厚は実験開始後5時間程度で一定となることが確認できたので、圧力及び濃度測定は高濃度層が定常となる実験開始5時間後とした。

3. 実験結果及び考察

図-2は振動流場及び静水中での界面の経時変化の一例を示したものである。振動流場及び静水中のいずれにおいても浮泥の圧密直前での高さはほぼ一致するものの、その後振動流場と静水中の場合とでは明瞭な差が生じ、振動流場では高濃度の浮泥として存在することを示している。この高濃度層が定常的に浮泥として存在する理由として、ここでは①粒子同士の接触にともなう有効応力の影響、②上層水と高濃度層内での圧力変動の差による効果、③剪断流によって生じる混合の効果等の点から考察を加えることとする。

①に関しては高濃度層内の濃度分布より、固体分率を計算してもただか数%であり、有効応力の効果については無視し得るものと考えられる。

図-3は水槽中央部での上層水の圧力変動の理論解と実験結果の一例を比較したものである。上層水に作用する加速度によって生じる圧力勾配が鉛直方向の力となり、この力が高濃度層内の微細粒子を浮上させる要因となるという点については本実験条件の範囲内で確認できなかった。しかしながら、高濃度層内と上層水での圧力差を示したところ図-4のようになった。これより実際に鉛直方向に動的圧力勾配が生じていることが確認された。このことは高濃度層の浮上機構の一要因となりうる。

③については、高濃度層内での流速分布及びその流動測定より、層内は剪断流場であると仮定される。このとき、変形速度テンソルの表示を用いれば次式となる。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad \text{--- (1)}$$

上式において回転速度の ω は角速度 ω を表す。ここで、粒子群が剪断流場において及ぼされる回転効果の代表長さを l 、角速度 ω 及び代表長さ l 内での濃度分布を考慮すれば、粒子群としての最大上向きフラックス量が計算される。この量と沈降速度によって輸送される下向きフラックス量とのバランスによってある濃度分布が形成される。これが結果として高濃度層内の浮上メカニズムの一要因となっている。これに関しては現在、層内の流速測定及び計算を実施中であり、講演当日にその一部を発表する予定である。

4. おわりに

振動流場において形成された高濃度層の保持機構の解明を目的として行った今回の実験より、その要因の一つとして圧力変動による影響を示すことができた。また、剪断流場による回転効果を考慮することによって、粒子群としての混合現象からそのアプローチを試みた。

最後に本研究に対し、文部省科学研究費奨励研究A（代表 山西）の補助を受けたことを記す。

<参考文献>

- 1) 楠田ら(1988)：波による底泥の浮遊及び挙動に関する研究, 第35回海溝, pp. 353-356.
- 2) 山西ら(1992)：振動流下における高濃度層の形成・保持機構に関する研究, 第39回海溝, pp. 286-290.

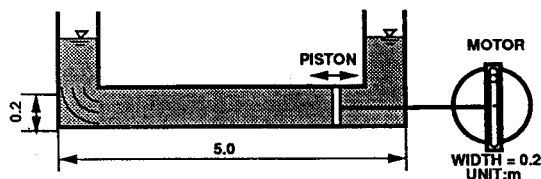


図-1 実験装置

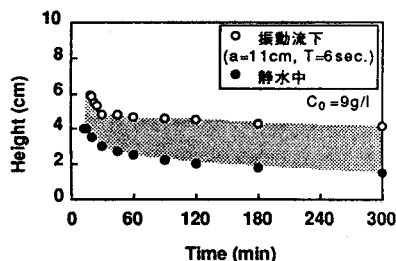


図-2 界面の経時変化

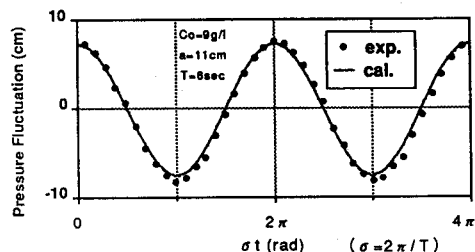


図-3 変動圧力

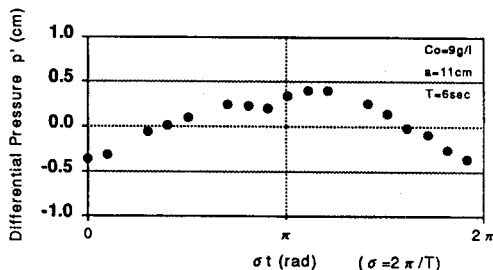


図-4 高濃度層内と上層水での圧力差

$$P' = P_{z=0.5} - P_{z=5}$$

ここに、 $P_{z=0.5}$ ：水槽底面より0.5cmでの圧力（高濃度層内）

$P_{z=5}$ ：5cm（上層水中）